

**Electronic polynomial interpolation device for numeric controls of machine tools, particularly milling machines for the machining of dies, and machine comprising said device.**

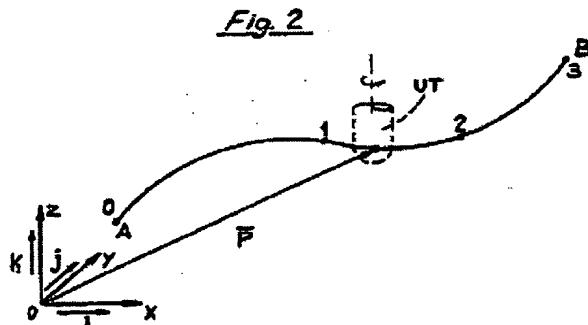
Patent number: DE69021795T  
Publication date: 1996-05-02  
Inventor: LEVI MONTALCINI PIERA (IT); RACCIU ANTONIO (IT)  
Applicant: ADVANCED DATA PROCESSING (IT)  
Classification:  
- International: G05B19/4103; G05B19/41; (IPC1-7): G05B19/4103  
- european: G05B19/4103  
Application number: DE19906021795T 19900703  
Priority number(s): IT19890067551 19890705

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE69021795T

Abstract of corresponding document: EP0406784

The device comprises a first section (25), which comprises logic circuit means which generate the law of motion along the machine operative trajectory arc, and a second section with a set of three digital polynomial generators (27-28-29), each of which receives from the motion law generator means the instantaneous value of the curvilinear coordinate and, from an external processing unit, the polynomial coefficients related to the trajectory arc to be generated and the sampling and sub-sampling pulses; the polynomial generators of the second section are suitable for providing, on the respective outputs, the corresponding components of the instantaneous speed vectors of each point of the trajectory, generated by adding and multiplying the polynomial coefficients and the curvilinear coordinate.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

USPS EXPRESS MAIL  
EV 636 851 831 US  
JAN 09 2005

AE

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

(51) Int. Cl. 6:  
G 05 B 19/4103

(37) EP 0 406 784 B1

(10) DE 690 21 795 T2

DE 690 21 795 T 2

(21) Deutsches Aktenzeichen: 690 21 795.1  
(35) Europäisches Aktenzeichen: 90 112 633.4  
(36) Europäischer Anmeldetag: 3. 7. 90  
(37) Erstveröffentlichung durch das EPA: 9. 1. 91  
(38) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 23. 8. 95  
(39) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 2. 5. 96

(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)

05.07.89 IT 6755189

(73) Patentinhaber:

Advanced Data Processing ADP S.r.l., Turin/Torino,  
IT

(74) Vertreter:

Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen

(84) Benannte Vertragstaaten:

DE, ES, FR, GB, SE

(72) Erfinder:

Levi Montalcini, Piera, I-10121 Torino, IT; Racciu,  
Antonio, I-10133 Torino, IT

(54) Elektronisches Polynomisches Interpolationsgerät für numerische Steuerungen von Werkzeugmaschinen,  
besonders für Fräsmaschinen für die Herstellung von Stanzen und mit diesem Gerät ausgerüstete  
Maschinen.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das  
erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und  
zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist  
(Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht  
worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 21 795 T 2

USPS EXPRESS MAIL  
EV 636 851 831 US  
JAN 09 2005

BUNDESDRUCKEREI 03.98 602 318/198

**B e s c h r e i b u n g**

**Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine elektronische polynomische Interpolationsvorrichtung zur numerischen Steuerung von Werkzeugmaschinen, insbesondere Fräsmaschinen für die Bearbeitung von Prägestempeln und auf eine Maschine, die eine derartige Vorrichtung enthält.**

**Bei der Bearbeitung von metallischen, aus Stahl, Gußeisen oder Aluminium hergestellten Prägestempeln, die für die Herstellung von Gegenständen vorgesehen sind, die aus Blech oder Plastik oder Verbundwerkstoffen hergestellt sind, ist die vollautomatische Fertigstellung der Prägestempel durch Werkzeugmaschinen inzwischen fundamental wichtig geworden.**

**Das erneute manuelle Starten der fertigstellenden Vorgänge stellt tatsächlich eine Aufgabe dar, die eine große Spezialisierung und lange Zeit benötigt, mit daraus folgenden inakzeptablen Produktionskosten.**

**Bei dem Design von Prägestempeln hat es das Auftreten von im allgemeinen unter dem Acronym CAD (Computer Aided Design) bekannten computerisierten Systemen erlaubt, die Oberfläche des Prägestempels unabhängig von seiner Komplexität zu definieren und konsequent Parameter zu generieren. Wenn diese Parameter durch andere im allgemeinen unter dem Acronym CAM (Computer Aided Manufacturing) bekannte computerisierte Systeme, welche in der Lage sind, Trajektorien zu erzeugen, prozessiert werden, erlauben sie das Werkzeug der Maschinen durch das numerische Kontrollsysteem derart zu bewegen, daß die mathematisch beschriebenen Oberflächen reproduziert werden.**

**Der größte Nachteil dieser bekannten Automationssysteme besteht gegenwärtig in dem Zusammenwirken zwischen den CAM-Systemen und den numerischen Steuerungen, aufgrund der der letzteren innewohnenden Grenzen.**

**Zur Zeit bekannte numerische Steuerungen benötigen tatsächlich die Trajektorie des Weges des Werkzeugs, welches durch ein CAM-System erzeugt wird, welches mit der mathematischen Definition der Oberfläche des zu bearbeitenden Teiles**

beginnt, als eine gebrochene Linie mit im allgemeinen einer großen Anzahl von Segmenten, um den Sehnenfehler zu enthalten. In erster Linie dies begrenzt die Vortriebsgeschwindigkeiten des Werkzeuges wesentlich, welche mit abnehmendem Sehnenfehler abnehmen und in jedem Fall aufgrund der großen zu prozessierenden Datenmenge kritisch für Werte im Bereich von 10.000 mm/min werden.

Die Natur von Trajektorien aus gebrochenen Linien führt in jedem Fall, sogar wenn der Sehnenfehler innerhalb sehr enger Grenzen gehalten wird, zur Erzeugung von "facettenartigen" Oberflächen, welche die anschließende und unerwünschte manuelle Fertigstellung des Prägestempels erfordern.

Aus der GB-A-1 424 767 ist eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine bekannt, mit einem sphärischen Schneidwerkzeug, welches sich auf einem vorbestimmten Weg bewegt, welcher durch einen Interpolator berechnet ist. In dem Fall, in dem Schneidwerkzeuge mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet werden, wird ein Korrektur-Algorithmus zur Verfügung gestellt, um die Differenzen im Schneidwerkzeugdurchmesser zu kompensieren, so daß Werkstückmessungen konstant bleiben. Der Weg "per se" wird berechnet durch einen an die Kreisinterpolation angepaßten drei-koordinatigen Linear-Zirkular-Interpolator, so daß die durch den Interpolator reproduzierte Information einen kreisförmigen Weg definiert, welcher von dem Schneidwerkzeug in Schneideebenen senkrecht zu den Achsen der rotierenden Körper durchschritten werden, wodurch zusammen mit dem flachen Abschnitt die gewünschte Oberfläche einer Arbeit entsteht.

Die US-A-4 663 726 beschreibt eine Robotersteuerung, welche kubische Spline-Interpolation verwendet. Wie in Spalte 3 beschrieben, beschäftigt sich die US-A-4 663 726 im wesentlichen mit der Steuerung des Roboterarms über eine Feedback-Schleife und der Bestimmung der polynomialen Koeffizienten.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden, und innerhalb des Bereichs dieses allgemeinen Ziels weist die Erfindung die wichtige Aufgabe auf, eine elektronische Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, welche dazu geeignet ist, Werkzeugtrajektorienbögen direkt zu interpolieren, welche dargestellt werden durch Polynome n-ten Grades und als eine Funktion eines Parameters, im folgenden nichtlineare Koordinate genannt, ausgedrückt werden, welcher zwischen 0 und der Länge der Trajektoriensektion variiert, wodurch entsprechende Übergangslose Oberflächen des bearbeiteten Stückes erhalten werden, welche keine manuellen Eingriffe zur Fertigstellung benötigen.

Eine andere wichtige Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, welche die Geschwindigkeit der Bewegung des Werkzeuges wesentlich erhöht und es erlaubt, die Beschleunigung und das Bremsen der Bewegung im Trajektorienbogen zu berücksichtigen und somit die korrekte Mischung von aneinandergrenzenden Bögen sicherzustellen, sogar beim Vorhandensein von Mischungen, in denen die Oberfläche deutliche Punkte der Diskontinuität aufweist (beispielsweise hervorstehende Spitzen).

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Interpolationsvorrichtung zur Verfügung zu stellen, welche eine einfache Schaltkreisstruktur aufweist, höchst zuverlässig im Betrieb ist und in der Lage ist, mit jeder Werkzeugmaschine mit mindestens drei Freiheitsgraden und mit jedem CAM-Trajektorien-Erzeugungssystem verbunden zu werden.

Um diese Ziele, diese wichtigen Aufgaben und andere zu erreichen, welche in der nachfolgenden detaillierten Beschreibung deutlich werden, bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine elektronische polynomische Interpolationsvorrichtung zur numerischen Steuerung von Werkzeugmaschinen, insbesondere Fräsmaschinen für die Bearbeitung von Prägestempeln, wie in Anspruch 1 definiert.

Die erste Sektion erzeugt ein Geschwindigkeitsdiagramm entsprechend dem Gesetz einer gleichförmig beschleunigten Bewegung entlang der Enden der betrachteten Trajektorienbögen, durch Addition und Subtraktion von Beschleunigungsschritten mit konstantem Wert durch binäre Addierer und Akkumulatoren.

In der zweiten Sektion umfaßt jeder Polynom-Erzeuger ein Register für die parallele Akkumulation der polynomialen Koeffizienten, dessen serieller Ausgang mit einer Kette wirksam verbunden ist, die einen Addierer und einen Akkumulator enthält, welcher, aktiviert durch die unter-abtastenden Pulse, das Polynom berechnet, welches die Trajektorie darstellt, welche auf eine rekursive Form reduziert ist, die aus Additionen und Multiplikationen besteht.

Die Geschwindigkeitsausgänge jedes Polynom-Erzeugers sind über ein Register, einen Digital/Analog-Wandler und einen Operationsverstärker mit dem Motor für den Antrieb des Werkzeuges entlang der betreffenden Koordinatenachse verbunden. Ein feststehendes optisches Lineal und ein optischer Sensor, welcher durch den Antriebsschaft bewegt wird, stellen eine Größe dar, welche mit der momentanen Position des Werkzeuges relativ zu der Achse korrespondiert; die aktuelle

aktuelle Position wird mit der theoretischen verglichen, um eine an den Antriebsmotor zu sendende positive oder negative Korrekturgröße als Vielfaches der Geschwindigkeit zu erhalten.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Weitere Eigenschaften, Zwecke und Vorteile werden durch die folgende detaillierte Beschreibung und durch die Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen deutlich, welche nichtbeschränkende Beispiele darstellen, in denen:

**Figur 1** ein Blockdiagramm eines automatischen numerisch gesteuerten Antriebssystems für eine Werkzeugmaschine ist, welches die polynomiale Erzeugungsvorrichtung entsprechend der vorliegenden Erfindung enthält,

**Figur 2** ein Diagramm einer typischen Trajektorie des r-ten Grades ist, welcher durch das Werkzeug der Maschine der Figur 1 gefolgt wird,

**Figur 3** ein Blockdiagramm der Interpolationsvorrichtung entsprechend der Erfindung ist,

**Figuren 4, 5 und 6** beschreibende Diagramme sind, die sich auf die erste Sektion der Interpolationsvorrichtung der Figur 3 beziehen,

**Figuren 7 und 8** detaillierte Blockdiagramme der ersten Sektion der Interpolationsvorrichtung sind,

**Figur 9** ein detailliertes Blockdiagramm eines der polynomialen Erzeuger der zweiten Sektion der Interpolationsvorrichtung ist,

**Figur 10** eine schematische Ansicht einer Werkzeugmaschine mit drei Freiheitsgraden ist, in der Art, in der sie mit der Vorrichtung entsprechend der Erfindung betrieben wird,

**Figur 11** ein detailliertes Blockdiagramm der Mittel zum Vergleichen der aktuellen Position mit der theoretischen Position des Werkzeugs ist, um ein Korrektursignal zu erzeugen.

In dem Diagramm der Figur 1 deutet das Bezugszeichen 10 ein bekanntes CAD-CAM-System zur mathematischen Darstellung typischer Oberflächen und zur Erzeugung von Werkzeug-Trajektorien an, welche mit der mathematischen Definition der Oberfläche beginnen.

**Das Bezugszeichen 11 deutet eine typische Werkzeugmaschine an, beispielsweise eine Fräsmaschine, welche über einen Mikroprozessor  $\mu P$ , eine mit einem Speicher versehene Schnittstelle 12, ein Steuermodul 13 und der polynomialen Interpolationsvorrichtung entsprechend der Erfindung, welche im allgemeinen durch das Bezugszeichen 20 angedeutet ist, wirksam mit dem System verbunden ist. Eine programmierbare Logikeinheit 15, gesteuert durch den Mikroprozessor  $\mu P$  wird darüber hinaus für die zusätzlichen Funktionen der Werkzeugmaschine 11, wie beispielsweise Kühlung und das Schmiermittel-Pumpmanagement, die Temperatur erfassung und -prüfung und dergleichen und die Programmierung der Werkzeughalter-Spindel zur Verfügung gestellt.**

**Das System 10 erzeugt die Trajektorie des Werkzeuges in der Form von numerischen Daten und sendet die Daten zu dem Mikroprozessor  $\mu P$ , welcher diese in dem Speicher der Schnittstelle 12 speichert. Durch dieselbe Schnittstelle 12 sendet der Mikroprozessor  $\mu P$  die Daten zum Interpolator 20, welcher in bestimmten Zeitabschnitten die Geschwindigkeit und die Position der Achsen der Werkzeugmaschine 11 erzeugt.**

**Abhängig von der aktuellen Position der Achsen der Maschine 11, korrigiert das Steuermodul 13 die Position in bestimmten Zeitintervallen, so daß die Trajektorie, welche das Werkzeug beschreibt, so nah wie möglich an der durch das System 10 erzeugten theoretischen ist.**

**Figur 2 stellt eine typische Trajektorie A-B dar, welche die durch das Werkzeug UT der Maschine 11 im Verlauf der Zeit angenommenen Positionen andeutet. Eine typische Position des Werkzeuges ist durch den Vektor  $P$  bezüglich einem Satz von drei kartesischen Koordinaten x-y-z angedeutet und läßt sich folgendermaßen ausdrücken:**

$$P = P_x \cdot i + P_y \cdot j + P_z \cdot k \quad (1)$$

**in der  $i$ ,  $j$  und  $k$  die Einheitsvektoren des Satzes von drei kartesischen Koordinaten darstellen.**

**Die Komponenten  $P_x$ - $P_y$ - $P_z$  des Vektors werden durch entsprechende Polynome  $r$ -ten Grades dargestellt, ausgedrückt als eine Funktion des Parameters "u", welcher eine nichtlineare Koordinate darstellt und zwischen 0 (Null) und der Länge der Trajektorie variiert:**

$$P_x = a_{rx} u^r + a_{(r-1)x} u^{r-1} + \dots + a_{1x} u + a_{\emptyset x}$$

$$P_y = a_{ry} u^r + a_{(r-1)y} u^{r-1} + \dots + a_{1y} u + a_{\emptyset y} \quad (2)$$

$$P_z = a_{rz} u^r + a_{(r-1)z} u^{r-1} + \dots + a_{1z} u + a_{\emptyset z}$$

Der Grad  $r$  des Polynoms kann im Falle von komplexen Trajektorien ziemlich groß sein ( $r >= 11$ ). Die gesamte Trajektorie kann jedoch in Untertrajektorienabschnitte vom Grad  $m <= r$  unterteilt werden; insbesondere ist es vorteilhaft, die Trajektorie in Abschnitte zu unterteilen, welche durch Polynome dargestellt werden, welche durch Gleichungen (2) dargestellt werden können, in denen  $m = 3$  ist (kubische Darstellungen).

Die Interpolationsvorrichtung 20 wird, als Eingangsdaten, mit den Koeffizienten der in (2) dargestellten Polynome, der nichtlinearen Länge der Untertrajektorienbögen  $i, i+1S$ , der Geschwindigkeit  $i, i+1V$ , mit der die Untertrajektorie durchschritten werden muß, der maximalen Beschleunigung  $i, i+1A$ , die entlang der Untertrajektorie erlaubt ist, der quadratischen Ausgangsgeschwindigkeit  $i, i+1VQ_0$ , sowie mit einem durch den Mikroprozessor  $\mu P$  zur Verfügung gestellten Prozent-Faktor FP versorgt.

Weiterhin, da das System vom abtastnumerischen Typ ist, wird die Vorrichtung 20 auch mit den Abtastpulsen  $nT$  versorgt, bei denen  $T$  das Abtastintervall (beispielsweise  $T = 1 \text{ ms}$ ) ist und mit den Unterabtastpulsen  $sT$ ;  $n$  ist der Satz von ganzen Zahlen zwischen  $-\infty$  und  $+\infty$ , und  $s = n + h/(m+1)$ , wobei  $h$  zwischen 0 (Null) und  $(m+1)$  mit  $m$  gleich dem Grad der zu erzeugenden Polynome variiert.

Bezug nehmend auf die Figur 3 enthält die Vorrichtung 20 im wesentlichen eine erste Sektion 25, welche den Erzeuger des Bewegungsgesetzes entlang des Trajektorienbogens bildet und eine zweite Sektion, welche aus einem Satz von drei Polynom-Erzeugern 27, 28, 29 besteht, welche im folgenden beschrieben werden.

Die Aufgabe der Sektion 25 ist es, in diskreten Intervallen  $nT$  die Position und die Geschwindigkeit des Punktes  $P(nT)$  zu berechnen. Die Notationen der Figur 4 werden verwendet; diese Figur stellt einen Untertrajektorienbogen  $i, i+1$  dar. Die nichtlineare Koordinate  $i, i+1S(nT)$  ist die Position des Vektors  $P(nT)$  in diskreten Intervallen  $nT$  mit Bezug auf den Ursprung des Bogens  $i$ , der Wert  $i, i+1V(nT)$  ist die Vektorgeschwindigkeit in diskreten Intervallen  $nT$ ;  $i, i+1V_i$  und  $i, i+1V_0$  sind die

Vektorgeschwindigkeiten des Eingangs in den und des Ausgangs aus den Untertrajektorienbögen.

Das Bewegungsgesetz entlang des betrachteten Untertrajektorienbogens ist vom gleichförmig beschleunigten Typ und ist aufgetragen auf Geschwindigkeits- und Zeitkoordinaten im Diagramm "δ" der Figur 5.

Ein erster Logikschaltkreis 30 (Figur 7) der ersten Sektion 25 berechnet die Geschwindigkeit  $i, i+1 V(nT)$  im Zeitpunkt  $nT$  und, durch Integration dieser Geschwindigkeit, berechnet den Wert der nichtlinearen Koordinate  $u = i, i+1 S(nT)$ , dessen Verlauf als Funktion der Zeit durch die Kurve "γ" der Figur 6 dargestellt ist.

Zu diesem Zweck umfaßt der Logikschaltkreis 30 einen ersten binären Addierer 31, welcher, in Intervallen  $nT$ , die Summe der Geschwindigkeit  $V[(n-1)T]$  und der positiven oder negativen Beschleunigungsschritte  $i, i+1 A^+$ ,  $i, i+1 A^-$ , die an den Ausgängen der entsprechenden Selektoren 32-33 anliegen, bildet.

Das Ergebnis der Summenoperation wird in einem Akkumulator 34 gespeichert, um zu jedem Zeitpunkt die Größe der Geschwindigkeit in Beziehung zum vorhergehenden Zeitpunkt zur Verfügung zu haben. Der Akkumulator 34 wird am Beginn jeder Untertrajektorie zurückgesetzt. Ein zweiter Addierer 35 integriert die Geschwindigkeit  $V(nT)$ , um die nichtlineare Koordinate  $S(nT) = u$  durch Addieren, zu jedem Zeitpunkt, der Geschwindigkeit  $V(nT)$  und der nichtlinearen Koordinate, welche mit dem vorhergehenden Augenblick  $(n-1)T$  verbunden ist und in einem entsprechenden zweiten Akkumulator 36 gespeichert ist, zu erhalten. Ein Komparator 37 vergleicht die nichtlineare Koordinate  $i, i+1 S(nT)$  und die totale nichtlineare Distanz  $i, i+1 S$ , um das Ende des Untertrajektorienbogens zu erkennen und ein Signal  $i, i+1 NA$  zu erzeugen, welches einen neuen Bogen anzeigt. Ein Multipliziererschaltkreis 38 berechnet darüber hinaus das Quadrat  $VQ(nT)$  der Geschwindigkeit  $V(nT)$  und ein Komparator 39 vergleicht diesen quadrierten Wert mit einem Kontrollwert  $VQO_C(nT)$ , welcher durch einen zweiten logischen Schaltkreis 40 (Figur 8) der Sektion 25 berechnet wird, um ein Kriterium für die Aktivierung des Selektors 32 oder des Selektors 33 zur Verfügung zu stellen, abhängig davon, ob Beschleunigung oder Bremsen entlang der betrachteten Untertrajektorie ausgeführt werden soll.

Um den Kontrollwert  $VQO_C(nT)$ , welcher eine ausgewählte, gleichförmig abgebremste Bewegung aufweist, zu berechnen, ist es notwendig, um den quadrati-

schen Wert  $i, i+1 VQ_0$  der Geschwindigkeit zu erreichen, zu jedem Zeitpunkt zu prüfen, daß die Differenz

$$i, i+1 VQ(nT) - i, i+1 VQ_0$$

immer kleiner ist als zweimal das Produkt der Beschleunigung  $i, i+1 A$  und dem Abstand  $i, i+1 S_l - i, i+1 S(nT)$ , welches weiterhin zum Ende des Untertrajektorienbogens hin erniedrigt werden muß, und es ist notwendig, abzubremsen, wenn die Differenz zwischen der quadrierten Geschwindigkeit den angedeuteten Wert übersteigt.

Diese Prüfung wird durch den Schaltkreis 40 ausgeführt, in dem ein binärer Subtrahierer 41 die Subtraktion  $i, i+1 AS \cdot i, i+1 S(nT)$  ausführt und ein erster binärer Multiplizierer 42 das Produkt der Subtraktion und der Beschleunigung  $i, i+1 A$ , welches zuvor in einem binären Duplikator 13 mit zwei multipliziert wurde, zu erzeugen. Ein Addierer 44 addiert den Ausgangswert des Multiplizierers 42 zum Quadrat der Geschwindigkeit  $i, i+1 VQ_0$  des Ausgangs von dem Untertrajektorienbogen, und zwei Multipliziererschaltkreise 45, 46 berechnen das Quadrat des Produktes von maximal erlaubter Geschwindigkeit  $i, i+1 V$  und dem Prozent-Faktor FP.

Ein Komparator 47 vergleicht die Ausgänge des Addierers 44 und des Multiplizierers 46 und treibt zwei Selektoren 48, 49 an, welche jederzeit dem Vergleichswert  $i, i+1 VQ_{OC}(nT)$  den kleinsten der beiden Werte, die in den Komparator gelangen, zuordnen.

Der Ausgang  $u = i, i+1 S(nT)$  der ersten Sektion 25 wird am Eingang der Polynomerzeuger 27, 28, 29, die die zweite Sektion der Vorrichtung 20 bilden, in den Multiplexbetrieb überführt; jeder der Erzeuger hat den Zweck, diskrete Positionen und diskrete Geschwindigkeiten für jede der Achsen X, Y und Z, entlang welcher sich das Werkzeug UT der Maschine 11 bewegt, zu erzeugen.

Zu diesem Zweck enthält jeder Polynomerzeuger einen Logikschaltkreis 50, welcher im Detail in Figur 9 dargestellt ist und welcher, durch sukzessives Summieren und Multiplizieren der Polynomkoeffizienten und der nichtlinearen Koordinaten das entsprechende Polynom (2) berechnet, reduziert auf die folgende rekursive Form (für  $r = 3$ ):

$$i, i+1 P_x = [i, i+1 a_3 x^u + i, i+1 a_2 x] \cdot u + i, i+1 a_1 x \cdot u + i, i+1 a_0 x$$

und genauso für die Komponenten Py und Pz.

Der Schaltkreis besteht im wesentlichen aus einem Schieberegister 51, in welchem die Koeffizienten des zu berechnenden Polynoms parallel zu jedem Abtastzeitpunkt nT akkumuliert werden; im Falle eines kubischen Polynoms sind die Koeffizienten vom folgenden Typus:

$$i, i+1 a_3 x^i, i, i+1 a_2 x^i, i, i+1 a_1 x^i, i, i+1 a_0 x^i$$

Die Unterabtastpulse sT (im Fall von m = 3, einem kubischen Polynom, vier Unterabtastpulse für jeden Abtastpuls) liegen ebenfalls am Eingang des Registers 51 an. Bei jedem Unterabtastpuls sT wird ein Koeffizient des Polynoms einem binären Addierer 52 eingegeben, beginnend bei  $i, i+1 a_3 x$  und in den nachfolgenden Unterabtastintervallen gefolgt durch

$$i, i+1 a_2 x^i, i, i+1 a_1 x^i; \text{ und schließlich durch } i, i+1 a_0 x^i$$

Ein binärer Multiplizierer 53 bildet, wiederum in jedem Unterabtastintervall, das Produkt der nichtlinearen Koordinate  $u = i, i+1 S(nT)$  und des Ausgangswertes des Addierers 52 im vorhergehenden Zeitpunkt, welcher in einem Akkumulator 54 gespeichert ist; der Akkumulator 54 wird bei jedem Abtastintervall nT durch einen Reset-Puls R zurückgesetzt. Auf diese Art und Weise wird das auf seine rekursive Form reduzierte Polynom Px in jedem Abtastzyklus nT berechnet.

Ein erstes Register 55 und ein zweites Register 56 sowie ein binärer Subtrahierer 57 sind am Ausgang des binären Addierers 52 angeordnet. Die Größe der gewünschten oder theoretischen Position  $P_{tx}(nT)$  wird aus dem ersten Register 55 entnommen. Die gewünschte oder theoretische Geschwindigkeitsgröße  $V_{tx}(nT)$  wird dem Ausgang des Subtrahierers 57 entnommen und wird erhalten durch Subtraktion der Position zum Zeitpunkt nT von der Position zum vorhergehenden Zeitpunkt (n-1)T, welche durch den Subtrahierer 57 ausgeführt wird.

Wie im Detail in Figur 10 gezeigt, versorgen die Ausgänge  $V_{tx,y,z}(nT)$  der Polynom- erzeuger 27, 28 und 29, die Ausgänge stellen die gewünschten oder theoretischen Geschwindigkeitswerte dar, mit zwischengeschalteten Wandler- und Verstärker- einheiten CAx, CAy, CAz die entsprechenden Motoren Mx, My, Mz der Werkzeug-

maschine. Jede Wandler- und Verstärkereinheit enthält ein Register 60, einen Digital/Analog-Wandler 61 und einen mehrstufigen Leistungsverstärker 42 - Feedback durch einen Speedometer-Erzeuger Dx, Dy, Dz, welcher durch den entsprechenden Motor angetrieben wird.

Der Motor Mx ist mit einer Bewegungseinheit GMx verbunden, welche fest mit dem Fundament BA der Maschine verbunden ist und eine kugelgelagerte Mutter CHx enthält, welche entlang der x-Achse durch eine Schnecke VSFx bewegt wird, welche durch den Motor Mx bewegt wird.

Auf ähnliche Art und Weise ist der Motor My mit einer identischen Bewegungseinheit GMy verbunden, welche jedoch im Unterschied zu der Einheit GMx entlang der y-Achse bewegbar ist und entlang der y-Achse durch die Mutter CHy der Einheit Mx bewegt wird. Andererseits bewegt die Mutter CHy der Einheit GMy, welche entlang der y-Achse bewegbar ist und durch die Schraube VSFy angetrieben wird, die gesamte Einheit GMz entlang der z-Achse; das Werkzeug UT, welches den Prägestempel ST erzeugt, wird auf bekannte Art und Weise durch einen Dorn, welcher mit einer programmierten Geschwindigkeit rotiert, unterstützt und ist fest verbunden mit der Mutter CHz, welcher ebenfalls entlang der z-Achse bewegbar ist und durch die Schraube VSFz angetrieben wird.

Ein mit Mikrolinien versehenes optisches Lineal REx, REy und REz ist mit dem Rahmen jeder Bewegungseinheit fest verbunden und ein entsprechender optischer Sensor SOx, SOy, SOz kooperiert mit jedem Lineal; die Signale der Sensoren SOx, SOy, SOz werden durch entsprechende Positionsähler 70<sub>x,y,z</sub> und Register 71<sub>x,y,z</sub> in eine Größe umgewandelt, welche den aktuellen Positionen Px(nT), Py(nT) und Pz(nT) des Werkzeugs entspricht. Ein Satz von drei Logikschaltkreisen 80 vergleicht die aktuellen Positionen mit den theoretischen, durch die Polynom- erzeuger 27, 28, 29 berechneten Positionen, um ein Korrektursignal V(nT)<sub>x,y,z</sub> als Vielfaches der Geschwindigkeit zu berechnen.

Zu diesem Zweck, wie im Detail in Figur 1.1 dargestellt, umfaßt jeder Schaltkreis 80 einen Subtrahierer 81, welcher die Differenz zwischen der gewünschten oder theoretischen Position und der aktuellen berechnet, einen Multiplizierer 82, welcher das Produkt des Ergebnisses der Subtraktion und der Zunahme G<sub>x,y,z</sub> der entsprechenden Steuerschleife bildet, und einen Addierer 83, welcher die entsprechende gewünschte oder theoretische Geschwindigkeit Vt<sub>x,y,z</sub>(nT) zu dem betrachteten Zeitpunkt berechnet zu dem Ergebnis des Produktes addiert.

Ohne das Konzept der Erfindung zu verändern, können die Details der Ausführung und der Ausführungsformen extensiv variiert werden, mit Bezug auf das, was beschrieben und illustriert wurde durch die nicht beschränkenden Beispiele, ohne daß der Bereich der Erfindung verlassen wird.

Insbesondere kann die Vorrichtung 20 durch eine einfache sequentielle Logikeinheit ersetzt werden, beispielsweise einem Mikroprozessor, programmiert, um das Bewegungsgesetz entlang des Bogens oder der Unterbögen der Trajektorie zum Betrieb der Maschine zu berechnen, das dem Bewegungsgesetz entsprechende Geschwindigkeitsdiagramm zu integrieren, die nichtlineare Koordinate der Trajektorie zu erhalten und das Polynom zu berechnen, welches die Trajektorie darstellt, reduziert auf eine rekursive Form von Additionen und Multiplikationen.

An den Stellen, an denen technische Merkmale in den Ansprüchen durch Bezugszeichen gefolgt sind, sind solche Bezugszeichen mit dem einzigen Zweck eingeführt worden, die Lesbarkeit der Ansprüche zu erhöhen, und daher haben derartige Bezugszeichen keinen limitierenden Effekt auf den Schutzbereich eines derart identifizierten Merkmals.

90 112 633.4-2206 (0 406 784)

A n s p r ü c h e

1. **Polynomische Interpolationsvorrichtung zur numerischen Steuerung von Werkzeugmaschinen, insbesondere Fräsmaschinen für die Bearbeitung von Prägestempeln, wobei das Werkzeug einer Maschinentrajektorie folgen muß, die aus einer Sequenz von Betriebstrajektorienbögen bestehen, welche jeweils durch ein Polynom mit nichtlinearen Koordinaten als Variable definiert sind, und die Vorrichtung enthält:**

**eine Prozessoreinheit (10), welcher Polynomkoeffizienten erzeugt, die jeden Betriebstrajektorienbogen der Sequenz von Trajektorienbögen des Werkzeugs definieren, und einen Interpolator (20), welcher mit der Prozessoreinheit (10) verbunden ist,**

**dadurch gekennzeichnet, daß der Interpolator (20) enthält:**

**eine erste Sektion (25), welche eine Logikschaltung (30) enthält, die einem vorbestimmten Bewegungsgesetz zur Erzeugung eines Geschwindigkeitsdiagramms des Werkzeugs entlang des Betriebstrajektorienbogens arbeitet und hieraus einen Augenblickswert der nichtlinearen Koordinaten des Trajektorienbogens berechnet; und**

**eine zweite Sektion (27, 28, 29) mit einem Satz von drei digitalen Polynomerzeugern, wobei jeder der digitalen Polynomerzeuger von der ersten Sektion (25) den Augenblickswert der nichtlinearen Koordinaten und von der Prozessoreinheit (10) die Polynomkoeffizienten empfängt, und die digitalen Polynomerzeuger der zweiten Sektion (27, 28, 29) an entsprechenden Ausgängen die korrespondieren Komponenten der augenblicklichen Positionsvektoren und der augenblicklichen Geschwindigkeitsvektoren an jedem Punkt des Trajektorienbogens zur Verfügung stellen, die durch Addition und Multiplikation der Polynomkoeffizienten und der augenblicklichen nichtlinearen Koordinaten erzeugt wurden.**

2. **Vorrichtung nach Anspruch 1,**

**dadurch gekennzeichnet, daß die erste Sektion (25) ein Geschwindigkeitsdiagramm gemäß dem Gesetz einer gleichförmig beschleunigten Bewegung entlang der Enden des entsprechenden Trajektorienbogens erzeugt.**

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Logikschaltung (30) der ersten Sektion (25) das Geschwindigkeitsdiagramm durch Addition oder Subtraktion von Beschleunigungsschritten mit konstantem Wert erzeugt.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Logikschaltung (30) der ersten Sektion (25) in der Lage ist, den Augenblickswert der nichtlinearen Koordinate der Trajektorie durch Integration des Geschwindigkeitsdiagrammes zu berechnen, welches das Bewegungsgesetz repräsentiert.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Prozessoreinheit (10) ein mikroprozessorbasiertes externes Hilfssystem enthält, welches in der Lage ist, eine Oberfläche mathematisch zu definieren.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Logikschaltung (30) der ersten Sektion (25) enthält: einen ersten binären Addierer (31), der in jedem Abtastintervall die Summe aus der Relativgeschwindigkeit in bezug auf den vorhergehenden Augenblick und den positiven oder negativen Beschleunigungsschritten berechnet, die an den Ausgängen von entsprechenden Selektoren (32, 33) voreingestellt sind, einen ersten binären Akkumulator (34), in welchem der Wert der Summe gespeichert ist, einen zweiten binären Addierer (35), welcher die Relativgeschwindigkeit in bezug auf einen vorgegebenen Augenblick dadurch integriert, daß er zu dieser Geschwindigkeit die nichtlineare Koordinate bezüglich des vorhergehenden Augenblicks hinzufügt, welche in einem zweiten binären Akkumulator (36) gespeichert ist, und einen ersten binären Komparator (37), der die nichtlineare Koordinate zu dem jeweiligen Augenblick mit der gesamten nichtlinearen Entfernung vergleicht, um das Ende des Trajektorienbogens zu erkennen und ein Signal zu erzeugen, welches einen neuen Bogen anzeigen.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Logikschaltung (30) der ersten Sektion (25) weiterhin enthält: einen ersten binären Multiplizierkreis (38), welcher in der Lage ist, in jedem Abtastintervall das Quadrat der erzeugten Geschwindigkeit zu berechnen und einen zweiten binären Komparator (39), der die quadrierten Werte mit einem Steuerwert vergleicht, um ein Kriterium für die Aktivierung der Selektoren

(32, 33) in Abhängigkeit davon zur Verfügung zu stellen, ob die Beschleunigung oder Verlangsamung entlang der betreffenden Untertrajektorie durchgeführt werden muß.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 und 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Logikschaltung (30) der ersten Sektion (25) weiterhin enthält:

einen Logikkreis (40) zur Erzeugung des Steuerwerts, wobei der Logikkreis (40) einen binären Subtrahierer (41) enthält, welcher in jedem Abtastintervall die Länge des Untertrajektorienbogens von der nichtlinearen Koordinate subtrahiert,  
einen zweiten binären Multiplizierer (42), der das Produkt des Subtraktionsergebnisses und des doppelten Beschleunigungsschrittes berechnet,  
einen dritten binären Addierer (44), der den Ausgabewert des zweiten binären Multiplizierers (42) zu dem Quadrat der Geschwindigkeit am Ende des Untertrajektorienbogens addiert,  
zwei weitere binäre Multiplizierer (45, 46), welche das Quadrat des Produktes der maximal zulässigen Geschwindigkeit und eines Prozentfaktors berechnet, und  
einen digitalen Komparator (47), welcher das Ausgangssignal eines ersteren (46) von zwei weiteren binären Multiplizierern (45, 46) mit dem des dritten Addierers (44) vergleicht, um zwei weitere Selektoren (48, 49) zu steuern, welche den niedrigeren von zwei Werten, die in den digitalen Komparator (47) eingegeben werden, dem Vergleichswert zuweisen.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß jeder Polynomerzeuger der zweiten Sektion (27, 28, 29) ein Schieberegister (51) zur parallelen Speicherung der Polynomkoeffizienten enthält und der serielle Ausgang des Schieberegisters mit einer Kette wirksam verbunden ist, die einen binären Multiplizierer (53), einen binären Addierer (52) und einen binären Akkumulator (54) enthält, die zur Berechnung desjenigen Polynoms geeignet sind, welches die augenblicklichen Positionsvektoren und die augenblicklichen Geschwindigkeitsvektoren eines jeden Punktes des auf eine rekursive Form von Additionen und Multiplikationen der Polynomkoeffizienten und der nichtlinearen Koordinaten reduzierten Trajektorienbogens repräsentiert.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der Register der Polynomerzeuger dem Grad des zu erzeugenden Polynoms proportional ist und dem Grad des Polynoms + 1 entspricht.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Polynomkoeffizienten in dem Schieberegister (51) in jedem Abtastintervall gespeichert sind und bei jedem Unterabtastimpuls in skalarer Weise zu dem Binäraddierer (52) übertragen werden.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der binäre Multiplizierer (53) in jedem Unterabtastungsintervall das Produkt der nichtlinearen Koordinate und des Ausgabewertes des Addierers (52) im Vergleich zum vorhergehenden Intervall berechnet, welches in dem Akkumulator (54) gespeichert ist.
13. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Mikroprozessor, der so programmiert ist, daß er das Bewegungsgesetz entlang des Betriebstrajektorienbogens der Maschine erzeugt, das Geschwindigkeitsdiagramm bezüglich des Bewegungsgesetzes integriert, um die nichtlineare Koordinate der Trajektorie zu erzielen und das Polynom zu berechnen, welches die augenblicklichen Positionsvektoren und die augenblicklichen Geschwindigkeitsvektoren eines jeden Punktes des auf eine rekursive Form von Additionen und Multiplikationen reduzierte Trajektorienbogens repräsentiert.
14. Werkzeugmaschine (11) insbesondere Fräsmaschine für die Bearbeitung von Prägestempeln, gekennzeichnet durch den Polynominterpolator gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13.
15. Werkzeugmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeitsausgangssignale des Polynomgenerators, die die gewünschte Geschwindigkeit repräsentieren, bei zwischengeschalteten Wandler- und Verstärkereinheiten (CAx, CAy, CAz) Motoren (Mx, My, Mz) entsprechender Einheiten (GMx, GMy, GMz) zur Bewegung der Werkzeugmaschine (11) steuern, und daß jede Bewegungseinheit (GMx, GMy, GMz) enthält: eine Regel (REx, REy, REz) und einen optischen Sensor (SOx, SOy, SOz), welche miteinander kooperieren und in der Lage sind, die aktuelle Position des Werkzeugs entlang der entsprechenden Maschinenkoordinatenachse zu bestimmen, und einen Satz von drei Logikschaltungen (80), die in entsprechende Regelschleifen eingesetzt sind, von denen jeder die aktuellen Positionen entlang der entsprechenden Maschinenachse mit den gewünschten Positionen vergleicht, die durch den Polynomgenerator zur Verfügung gestellt werden, um ein entsprechendes Korrektursignal bezüglich der Geschwindigkeit zu erzeugen.

**16. Werkzeugmaschine nach Anspruch 15,**  
dadurch gekennzeichnet, daß der Logikkreis (60) jeder Regelschleife enthält: einen binären Subtrahierer (81), welcher die Differenz zwischen der gewünschten Position und der aktuellen Position berechnet, einen binären Multiplizierer (82), welcher das Ergebnis der Subtraktion mit der Verstärkung der entsprechenden Regelschleife multipliziert, und einen Addierer (83), der die entsprechend gewünschte Geschwindigkeit zu dem betreffenden Augenblick zum Ergebnis dieses Produktes hinzuaddiert.

90 112 633.4-2206 (0 406 784) <sub>1/5</sub>

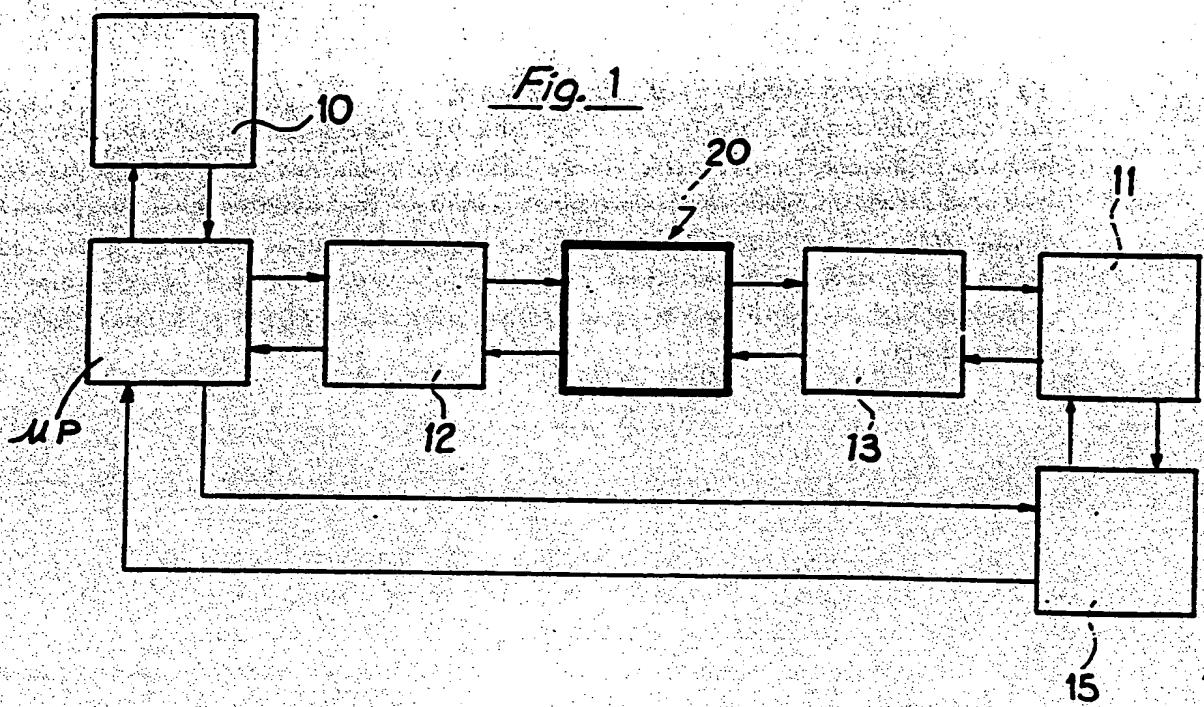


Fig. 2

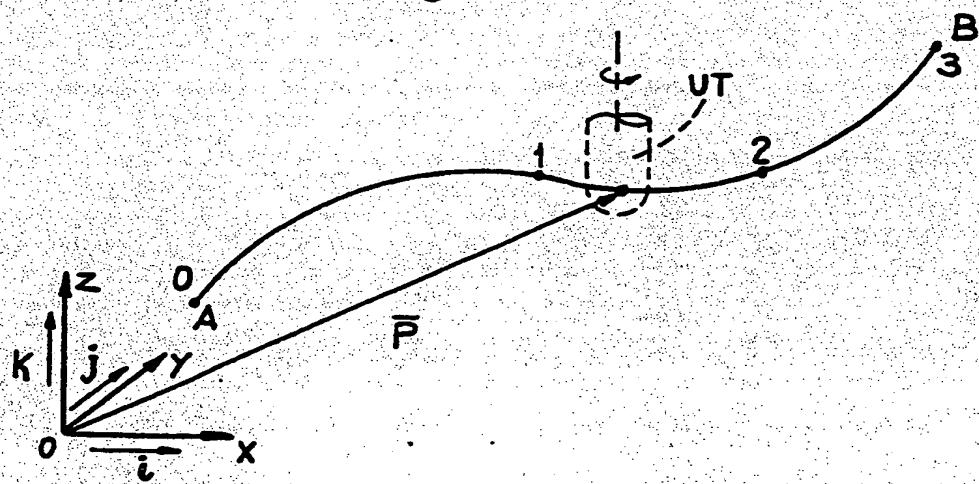
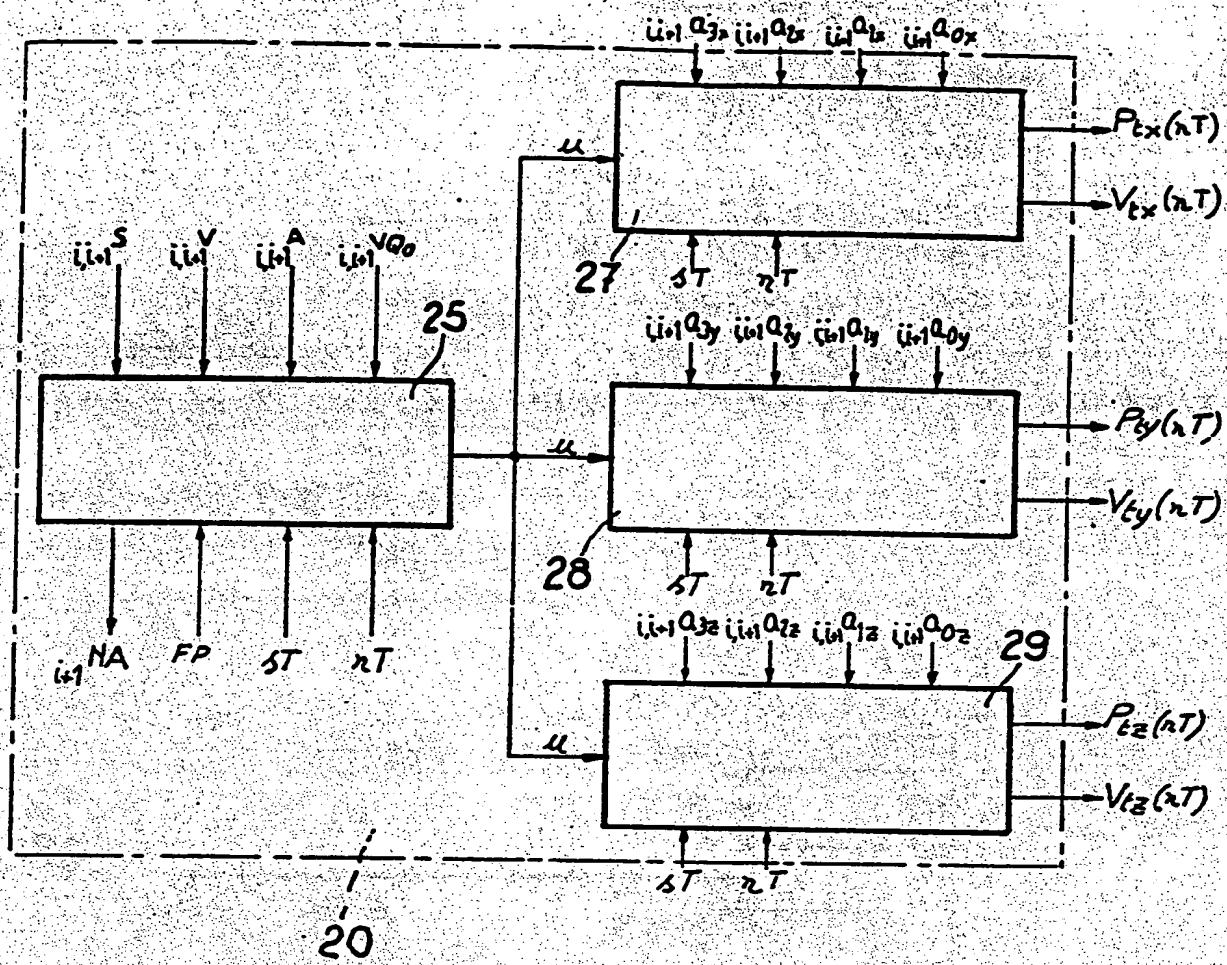
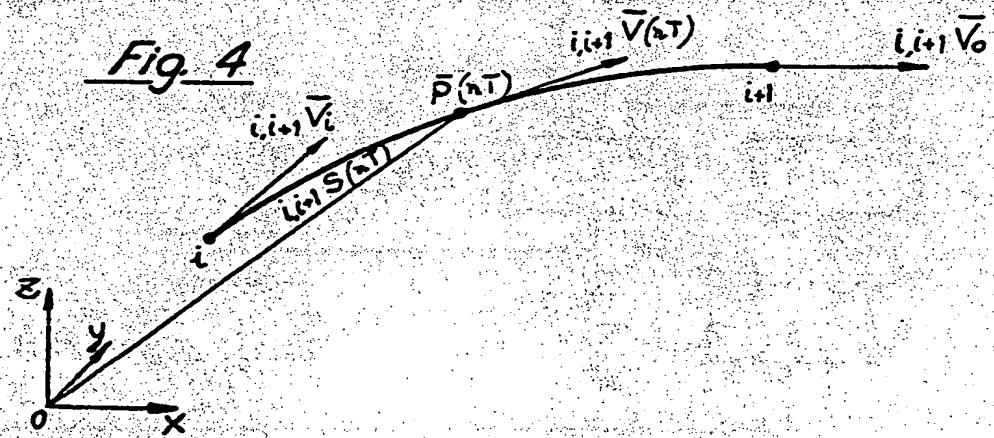


Fig. 3



20

Fig. 4



3/5

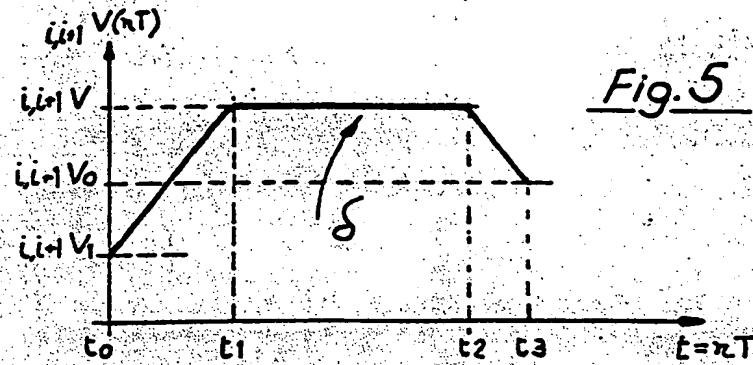


Fig. 5

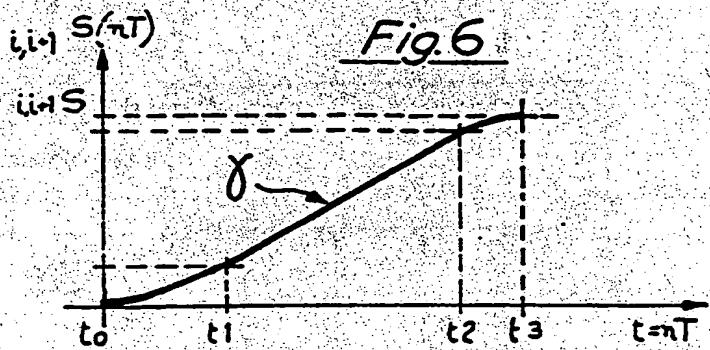
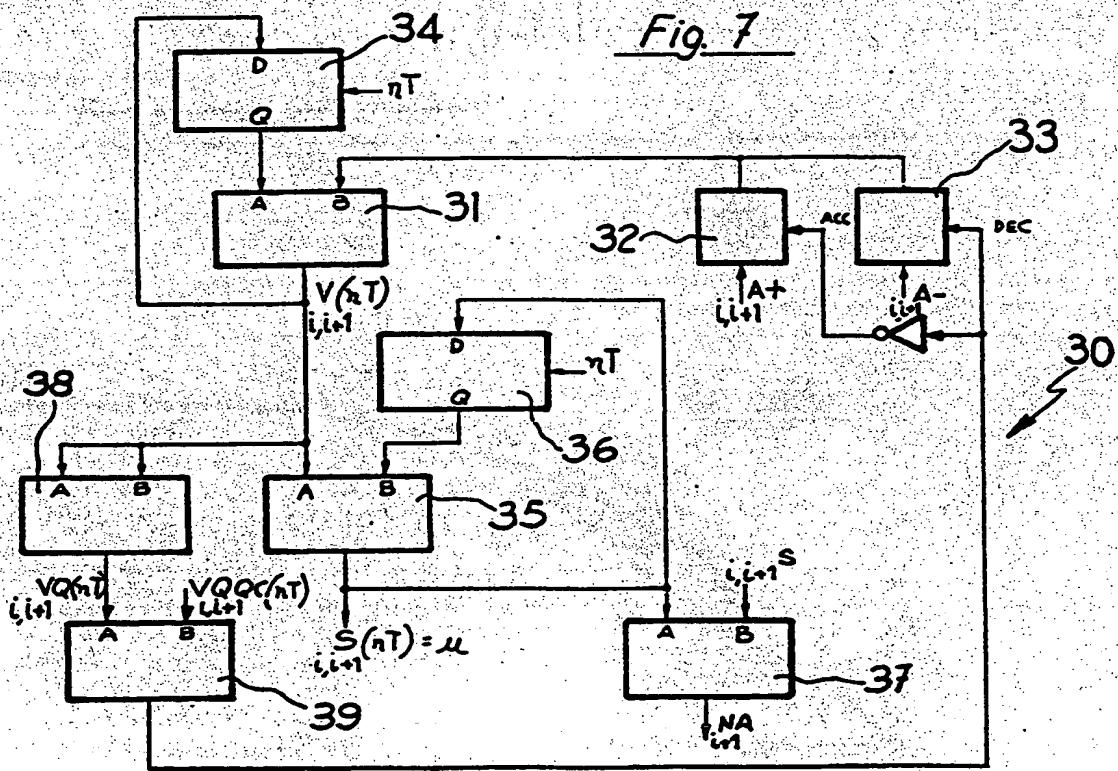


Fig. 6



4/5

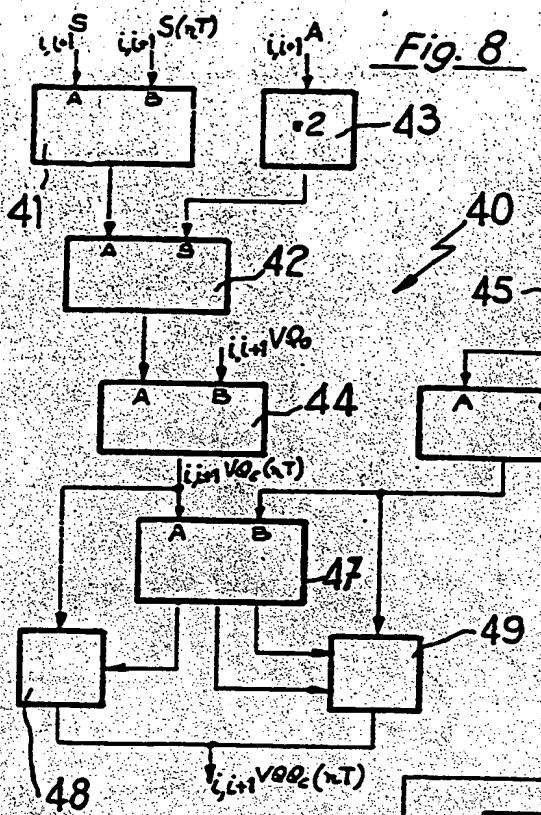
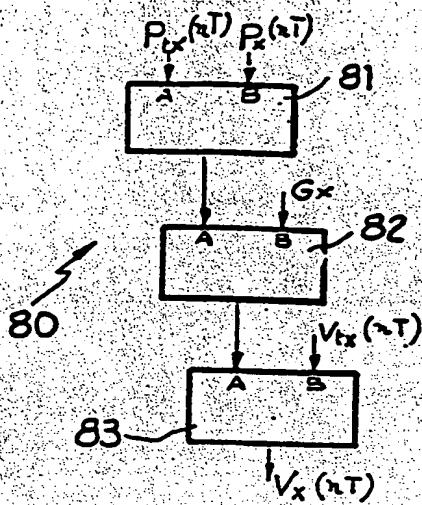
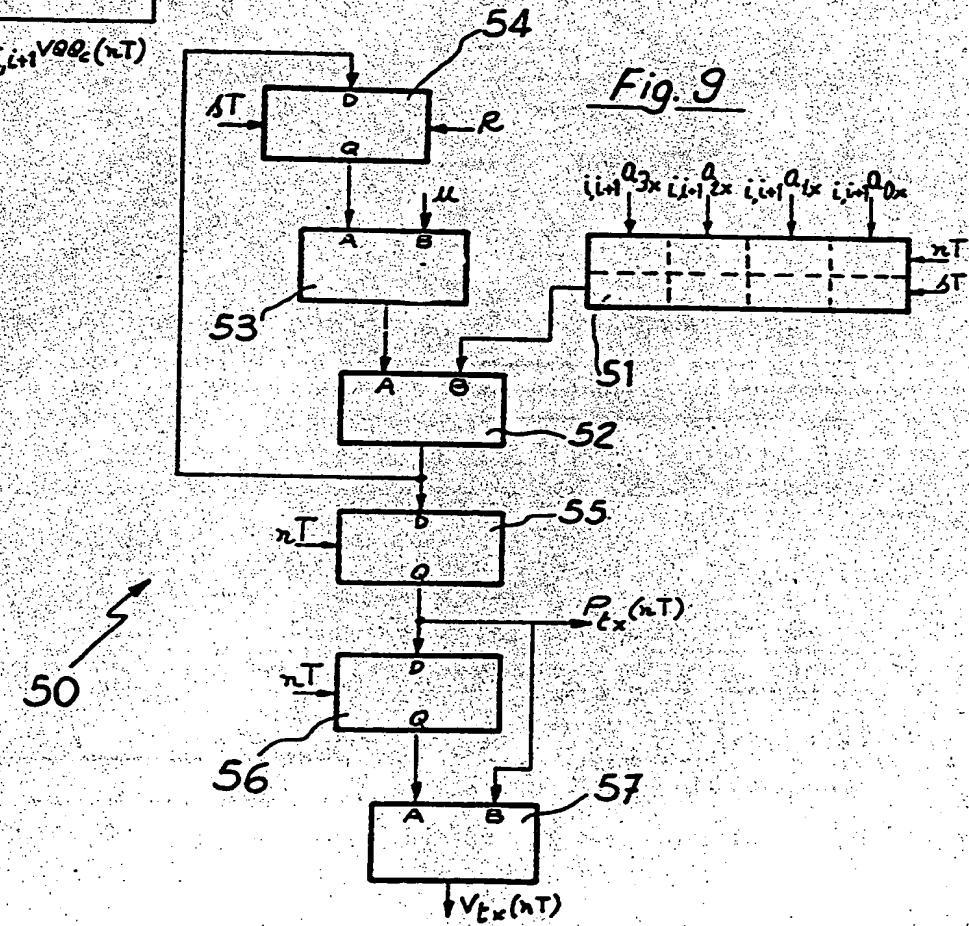
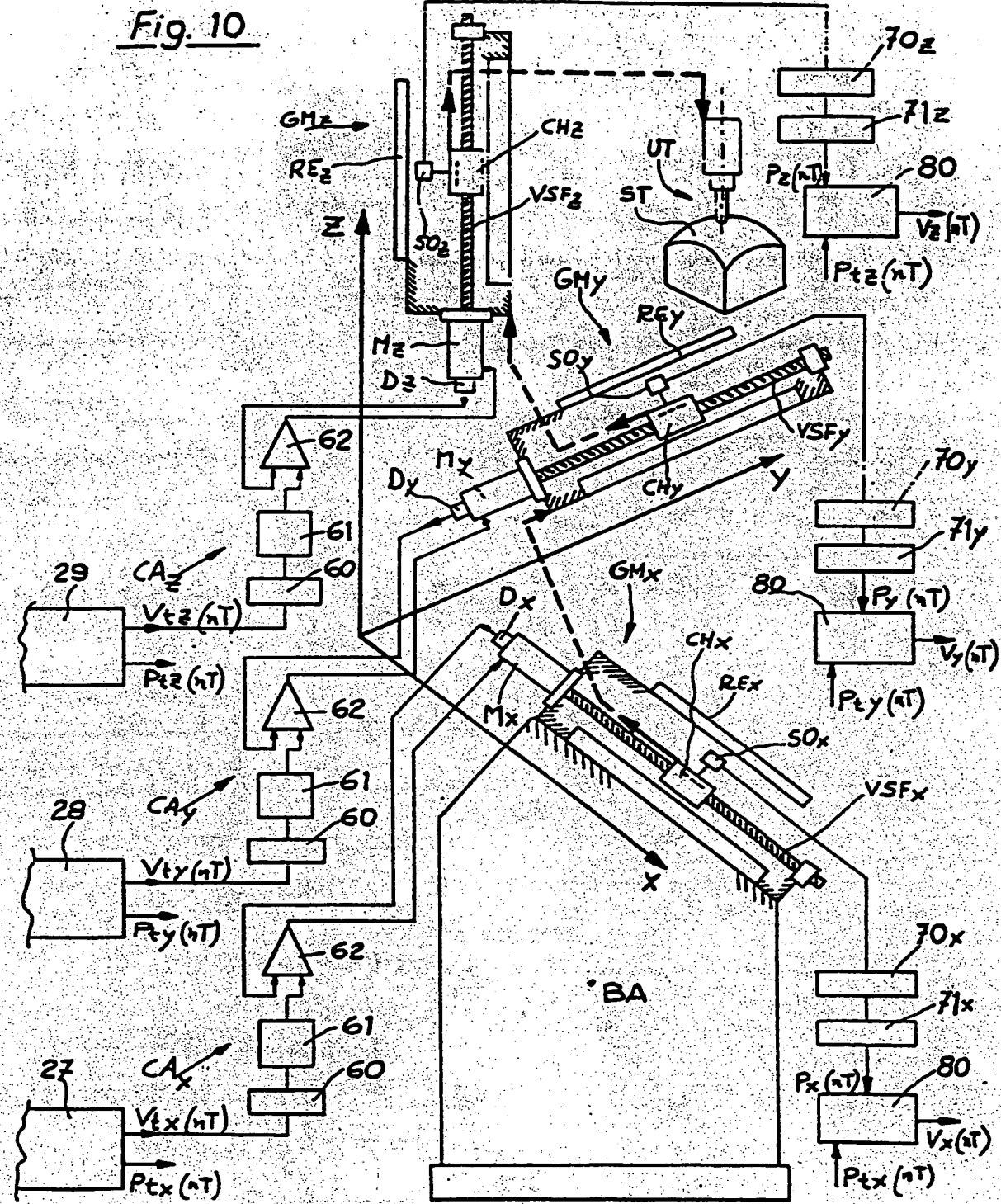
Fig. 11Fig. 9

Fig. 10



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**